

Список литературы

1. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды: М., 1999. 8 с.
2. Гаврась, О.В. Анализ загрязнения воздуха транспортными потоками на застроенной территории / О.В. Гаврась, А.В. Заноз, Т.В. Гавриленко // Материалы VIII Всероссийской научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э.Циолковского: Молодежь и наука [Электронный ресурс]. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012.
3. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов / Мин-во транспорта Российской Федерации. – М., 1995. – 74 с.
4. Климат Красноярска / под ред. Швер Ц.А. и Герасимовой А.С. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 231 с.
5. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей / Отв. Ред. Г.А.Михайлов. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005. – 259 с.
6. Райзер В.Д. Методы теории надёжности в задачах нормирования расчётных параметров строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 192 с.
7. Графики фактического хода метеозаписей по ст. Красноярск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://meteo.krasnoyarsk.ru/map_p/fr2.htm?mode=2. – Загл. с экрана.

ПОРОГОВЫЕ РЕАКЦИИ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ ОБЛУЧЕННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Губайдулин И.М., Никифоров М.А.
E-mail: commander_tom@sibmail.com

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент, Беденко С.В., Национальный исследовательский университет

Состояние исследований

Рассматриваемая в работе проблема посвящена теоретическим исследованиям и численным экспериментам, направленным на изучение ядерно-физических особенностей пороговых реакций протекающих в керамическом облученном ядерном топливе (ОЯТ) с предельными значениями глубин выгорания.

Повышение эффективности ядерной энергетики связано с решением следующих основных задач. Первая задача связана с регенерацией ОЯТ атомных станций и возвращением его в ЯТЦ (замкнутый топливный цикл). Вторая задача обусловлена резко возросшей глубиной выгорания, вплоть до 120 МВт·сут/т, как штатного топлива UO_2 , так и новых перспективных керамических топлив действующих реакторов и реакторных установок (РУ) нового поколения [1].

Увеличение глубины выгорания штатного топлива, а так же появление новых видов керамических топливных композиций типа $(Pu,Th)O_2$, $(U,Th)O_2$, $(U,Pu)O_2$, $UC/(U,Pu)C$, $UN/(U,Pu)N$ для действующих реакторов и РУ нового поколения еще больше обострит проблему обращения с ОЯТ и высвобождающимся ураном и плутонием. Потребуется разработка новых концептуальных подходов по обращению с таким топливом.

Отметим, что расчетные исследования выполненные авторами в рамках нескольких Государственных контрактов (Гос. контракта № П777, 2010–2012 гг., Соглашение № 14.В37.21.0473 от 3 августа 2012 г.) показали, что существует разумный предел выгорания керамического ядерного топлива. Бездумное увеличение глубины выгорания до заявленных во многих научных работах (70–120) МВт·сут/т будет сопряжен с непреодолимыми радиационными проблемами на стадии радиохимического передела ОЯТ.

При решении задач безопасности ОЯТ основная проблема связана с радиационной безопасностью и разработкой регламентов и процедур обращения с учетом спектральных и интегральных характеристик нейтронного излучения ОЯТ [1, 2]. В настоящем исследовании особое внимание уделено пороговым состояниям и пороговым уровням нейтронных (α, n)-реакций на легких

ядрах (О, С и N) керамического топлива, так как именно (α, n)-реакция может существенно осложнить радиационную обстановку при обращении с ОЯТ.

Существующие сегодня методики расчета полей излучения вблизи ОЯТ разработаны и аттестованы в основном для штатного оксидного топлива UO_2 , эксплуатировавшегося преимущественно в водо-водяных энергетических реакторов на тепловых нейтронах. Причем, погрешность определения нейтронной составляющей радиационных характеристик ОЯТ лежит в пределах (22–26) % и требует отдельного более детального изучения [2].

Таким образом, применение используемых сегодня методик и алгоритмов расчета для определения нейтронной составляющей радиационных характеристик новых видов топлив требует как минимум обоснования, а в ряде случаев существенного дополнения и модернизации. Кроме того, конструктивные особенности РУ нового поколения и параметры их эксплуатации приводят к изменению характеристик поля излучения ОЯТ, влияющих на радиационную обстановку вблизи систем хранения и транспортировки, что не учитывается существующими сегодня методами расчета.

Авторами предложена новая аналитическая модель ядерно-физических процессов, протекающих в топливе, которая позволила выделить все основные каналы формирования нейтронов, включая нейтронные каналы вблизи порога реакции (α, n) и ранее не принимавшиеся во внимание фотоядерные резонансные процессы, протекающие в ОЯТ. Разработанная модель учитывает не только выход нейтронов и многообразие пороговых явлений на легких ядрах керамического ядерного топлива, а также спектр (α, n)-реакций.

Аналитическая модель ядерно-физических процессов, протекающих в облученном керамическом ядерном топливе

Выход нейтронов по каналу спонтанного деления

Особенности (α, n)-реакции

Одна из особенностей (α, n)-реакций заключается в том, что (α, n)-нейтроны (нейтроны от реакции (α, n) на ядрах О, С, N и на некоторых легких ядер-продуктах деления, вызываемые α -частицами Pu, Am и Cm) являются важной и значимой составляющей нейтронного излучения ОЯТ. В зависимости от типа реактора, выгорания, выдержки и начального обогащения вклад (α, n)-реакции может изменяться в широких пределах.

Для облученного UO_2 составляющая от (α, n)-реакции приблизительно равна (18–20) % (реакторы типа ВВЭР, РБМК), для быстрых аппаратов (БН-600, -800) вклад (α, n)-реакции может достигать (80–90) %, для высокотемпературных РУ эта цифра будет выше.

Кроме того, спектр (α, n)-реакции на кислороде и, в особенности на углероде существенно «жестче» по сравнению со спектром спонтанного деления. По этому, при расчете радиационных характеристик ОЯТ, необходимо знать спектр нейтронного излучения и в большинстве случаев проектировать защиту с учетом особенностей этого спектра.

Отметим, что спектр нейтронов зависит от замедляющих и поглощающих свойств среды, от утечки нейтронов. Поэтому спектр излучения какого-либо соединения будет сильно отличаться от спектра реальной технической среды (ОЯТ, растворы, смеси, соединения), состоящей из смеси актиноидов. В таких случаях рекомендуется рассчитывать спектр излучения и выход нейтронов с использованием соответствующих методик и программных продуктов. При использовании программных продуктов необходимо помнить о точности расчета.

Выход нейтронов в (α, n)-реакции

Рассмотрим среду, состоящую из вещества j на ядрах которого идет реакция (α, n) и вещества i α -излучателя (актиноида), на ядрах которого эта реакция невозможна.

В самом общем случае, выход нейтронов в результате (α, n)-реакции определяется соотношением:

$$Q_i^{\alpha, n}(E) = m_i q_i^{\alpha, n}(E), \text{ нейтр./с,}$$

где m_i – масса α -активного актиноида, г; $q_i^{\alpha, n}(E)$ – удельный выход нейтронов, нейтр./(с·г).

При изотропном распределении направлений движения α -частиц удельный выход нейтронов можно рассчитать по соотношению:

$$q_i^{\alpha, n}(E) = q_i^{\alpha} \cdot n_j \int_{B_j}^{E_i} \frac{\sigma_j^{\alpha, n}(E)}{f_{\text{соед}}(E)} dE, \text{ нейтр./(с·г),} \quad (3)$$

где q_i^{α} – удельная мощность α -излучателя, испускаемых i -м актиноидом, α -частиц/(с·г); n_j – концентрация j -х ядер в соединении, см⁻³; $\sigma_j^{\alpha, n}$ – микроскопическое эффективное сечение (α, n)-

реакции, см²; $f(E)=(-dE/dx)$ – ионизационные потери энергии α -частицы на атомах i -го соединения, МэВ/см; E – средняя энергия α -частиц i -го актиноида, МэВ; B_j – порог (α ,n)-реакции, МэВ.

При расчете сечения (α ,n)-реакций можно воспользоваться моделью, учитывающую зависимость выхода ядерных реакций и массовой тормозной способности (ионизационные потери в среде) от энергии α -частиц. Аналитически эта модель выглядит следующим образом:

$$\sigma_j^{\alpha,n}(E_i) = \frac{1}{N_j} \cdot \frac{dY_j(E)}{dE} \cdot |f_j(E)|, \text{ см}^2,$$

где N_j – концентрация ядер кислорода, см⁻³; $Y_j(E)$ – выход нейтронов на одну α -частицу; $dY_j(E)/dE$ – производная от полуэмпирической функции $Y(E)$, МэВ⁻¹; $f(E) = (-dE/dx)$ – ионизационные потери энергии α -частицы на атомах кислорода, МэВ/см.

Функциональная зависимость выхода нейтронов $Y_j(E)$ от энергии α -частиц получается при полиномиальной или степенной аппроксимации экспериментальных данных. В отсутствии экспериментальных данных функция $Y_j(E)$, а также первая производная от неё, могут быть определены путем аппроксимации значений выхода нейтронов, имеющихся в библиотеке экспериментальных ядерных данных EXFOR.

Зависимость ионизационных потерь $f(E)$ представлена во многих классических работах по экспериментальной ядерной физике. Например, можно использовать формулу Бете-Блоха для ионизационных потерь тяжелых заряженных частиц.

Таким образом, выход нейтронов можно оценить, если известны зависимость сечения реакции от энергии частиц и закон потерь энергии в зависимости от пробега частиц в среде. То есть все решение сводится к определению интеграла в выражении (3).

В таблице 1 сведены результаты расчетов радиационных характеристики наиболее важных нуклидов, формирующих нейтронное излучение как облученных, так и не облученных топливных композиций на основе урана, плутония и тория.

Таблица 1. Радиационные характеристики некоторых радионуклидов и их соединений

Нуклид	E_i^α , МэВ	q_i^α , $\alpha/\text{с/г}$	q_i^{sf} , $sf/\text{с/г}$	Q_i^{sf} , н/с/г	$q_i^{\alpha n}(\text{MeO}_2)$ $/\omega_i$, н/с/г	$q_i^{\alpha n}(\text{MeC})/$ ω_i , н/с/г	$q_i^{\alpha n}(\text{MeN})/$ ω_i , н/с/г
²³⁸ Pu	5,49	$6,342 \cdot 10^{11}$	$1,205 \cdot 10^3$	$2,808 \cdot 10^3$	$1,337 \cdot 10^4$	$9,902 \cdot 10^3$	$9,430 \cdot 10^2$
²⁴² Cm	6,10	$1,226 \cdot 10^{14}$	$7,604 \cdot 10^6$	$1,772 \cdot 10^7$	$4,650 \cdot 10^6$	$3,182 \cdot 10^6$	$3,031 \cdot 10^5$
²⁴⁴ Cm	5,80	$2,998 \cdot 10^{12}$	$4,107 \cdot 10^6$	$1,109 \cdot 10^7$	$8,483 \cdot 10^4$	$6,031 \cdot 10^4$	$5,740 \cdot 10^3$
²⁴¹ Am	5,49	$1,271 \cdot 10^{11}$	$5,465 \cdot 10^{-1}$	1,640	$2,673 \cdot 10^3$	$1,980 \cdot 10^3$	$1,886 \cdot 10^2$
²⁵² Cf	5,93	$1,986 \cdot 10^{13}$	$6,141 \cdot 10^{11}$	$2,307 \cdot 10^{12}$	$6,284 \cdot 10^5$	$4,380 \cdot 10^5$	$4,170 \cdot 10^4$

Известный изотопный состав какой-либо топливной композиции или раствора, содержащего делящиеся нуклиды, позволяет нам с помощью таблицы 1 сравнительно просто оценить вклад каждого изотопа в суммарное нейтронное излучение.

Выход нейтронов и спектральный состав сложных сред, как уже упоминалось, необходимо рассчитывать с помощью специализированных пакетов программ. Программа Origen-Arp, входящая в состав пакета прикладных программ Scale 5/0., является одной из совершенных программ, которую можно использовать для расчета выгорания и спектра излучения ОЯТ. На рисунке 1 приведен спектр нейтронов ОЯТ теплового реактора рассчитанный с помощью программы Origen-Arp.

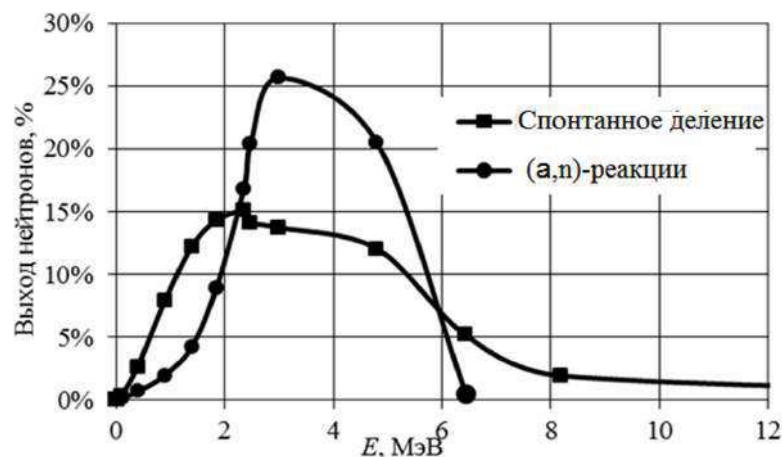


Рисунок 1. Спектры нейтронов облученного топлива теплового реактора

Выводы

1. В работе предложена новая аналитическая модель ядерно-физических процессов, протекающих в топливе, которая позволила выделить все основные каналы формирования нейтронов, включая нейтронные каналы вблизи порога реакции (α, n) и ранее не принимавшиеся во внимание фотоядерные резонансные процессы, протекающие в ОЯТ.

2. Установлено, что увеличение глубины выгорания до заявленных во многих научных работах (70–120) МВт·сут/т будет сопряжено с непреодолимыми радиационными проблемами на стадии радиохимического передела ОЯТ.

Литература

1 Беденко С.В. Особенности излучения облученного керамического ядерного топлива. Нейтронное излучение облученного ядерного топлива. - Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012 - 124 с.

2 Шаманин И.В., Буланенко В.И., Беденко С.В. Поле нейтронного излучения облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 2. – С. 97–103.

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИМА БЕНЗОФЕНОНА И ЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Даниленко Н.В., Куксёнок В.Ю.
dani_nozomi@mail.ru

Научный руководитель: к.х.н, доцент кафедры БИОХ ИФВТ НИТПУ, Штрыкова В.В.

В данной работе исследуется возможность получения бензгидриламинов путем восстановления соответствующих оксимов. Актуальность этой работы заключается в разработке эффективного и экономически выгодного способа получения бензгидриламинов, которые являются субстратами в синтезе бензгидрилмочевин. Как известно бензгидрилмочевина является биологически активными соединениями, проявляющими выраженную противосудорожную активность, что позволяет использовать их в качестве лекарственных препаратов [1]. На сегодняшний день существуют различные методы получения аминов, среди которых особого внимания заслуживает реакция восстановительного аминирования по Лейкарту-Валлаху.